

RECORTAR EMISIONES EN VEHÍCULOS AGRÍCOLAS

INTRODUCCIÓN DEL TIER 4: CAMINO HACIA LAS CERO EMISIONES EN VEHÍCULOS TODOTERRENO

Adolfo Moya González, Pilar Barreiro Elorza

Departamento de Ingeniería Rural

ETS Ingenieros Agrónomos (UPM)

NORMATIVA SOBRE EMISIONES DE VEHÍCULOS AGRÍCOLAS

La normativa de emisiones para motores de vehículos todoterreno, entre los que se encuentran los empleados por los vehículos agrícolas, se estructura en una serie de escalones o fases ('Tiers' o 'Stages') en los que se limita la emisión de contaminantes en función de la potencia de los motores.

La Agencia de Protección Medioambiental estadounidense (EPA según sus siglas en inglés) ha liderado la implantación de las distintas normas sobre emisiones aplicables a los vehículos todoterreno desde la entrada en vigor del Tier 1 en el año 1996. En la Unión Europea la primera etapa ('Stage I') fue promulgada en 1997 puesta en práctica en 1999. En el caso de los vehículos todoterreno, la normativa europea está casi completamente armonizada con la definida por la EPA.

Las normas establecidas mediante los Tiers o Stages definen los niveles máximos de emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) y de partículas (PM), así como de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC). La evolución registrada a lo largo de las distintas fases resulta especialmente notable en

El tractor John Deere 8360R que cumple la nueva normativa de emisiones IT4



- * La definitiva implantación del Tier 4 derivará en mejoras significativas en la calidad del aire, con importantes beneficios para la salud y el bienestar de las personas
- * Los estudios realizados sobre costes y beneficios de la implantación del Tier 4 dejan claro que los beneficios cuantificables superan ampliamente a los costes de implantación y mantenimiento
- * Con el Tier 4 implantado, se plantearán otros retos como la mejor eficiencia energética o la reducción de gases de efecto invernadero que serán nuevos desafíos para los ingenieros que diseñan motores para vehículos agrícolas

cuanto a los niveles máximos de emisión permitidos en óxidos de nitrógeno (NO_x) y partículas (PM) que se reducirán a menos de un 5% de los definidos en el

Tier 1 cuando se implemente completamente la fase Tier 4.

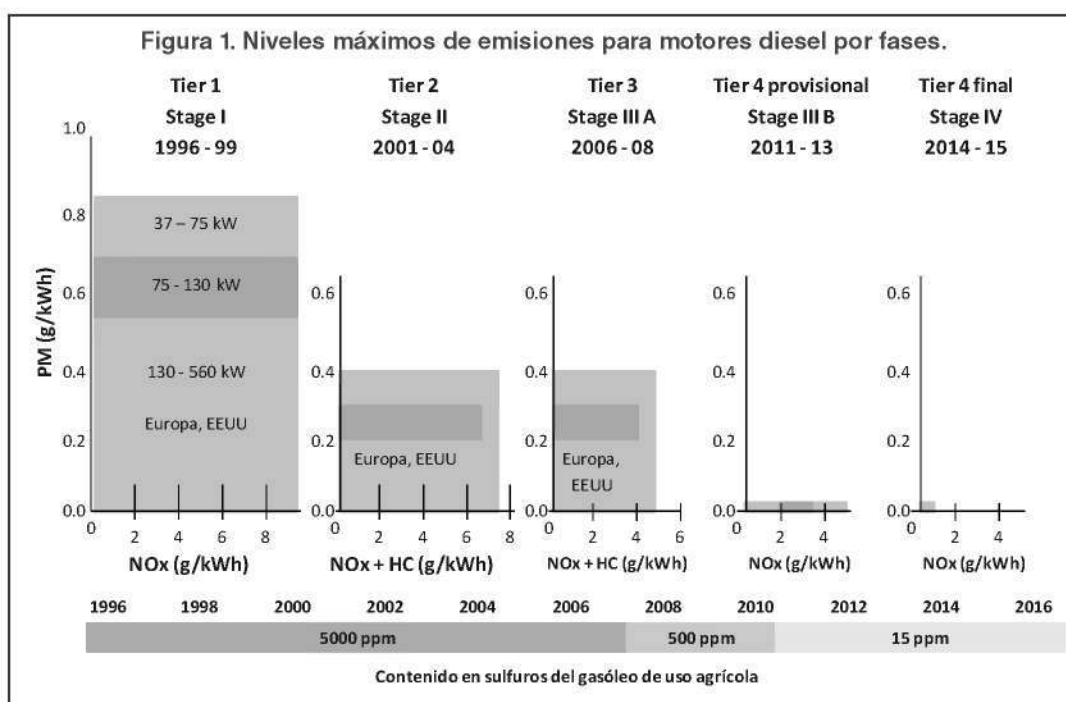
El Tier 3, equivalente al Stage IIIA europeo, ha estado vigente desde su implantación entre los años 2006 y 2008. A partir del 1 de enero de 2011 se inicia la implantación del Tier 4 (Stage IV) que contempla el paso por una fase denominada Tier 4 provisional (Stage IIIB) hasta su total implantación.

La figura 1 muestra un esquema de implementación de las distintas fases indicando los niveles

máximos permitidos para los distintos contaminantes según las potencias de los motores.

NORMATIVA SOBRE COMBUSTIBLES

Los criterios de emisiones definidos en los distintos niveles han de estar acompañados por una reducción en los niveles de sulfuros contenidos en el combustible. La necesidad de esta reducción se debe a que parte de los sulfuros se convierten en sulfatos en el proceso de combustión, y estos sulfatos se incluyen entre las partículas emitidas (PM), mientras que otra parte de los sulfuros es emitida en forma de óxidos de azufre (SO_x) también asociados a problemas causados por la polución; La reducción en los niveles de sulfuros es imprescindible para la adopción de tecnologías para la reducción de emisiones, como la recirculación de los gases de escape (EGR), los sensores de NO_x y los tratamientos posteriores. Esta necesidad puede asimilarse al requerimiento de reducir los niveles de plomo en las gasolinas cuando se implantaron los conversores catalíticos. Durante las fases Tier 1 a Tier 3, los niveles de sulfuros en gasóleo agrícola no estaban limitados por normativa medioambiental, debiendo ajustarse a las especificaciones de la industria petroquímica que fijaban un 0,5%, (5000 ppm) de contenido máximo en sulfuros. Este contenido fue limitado por la EPA a 500 ppm a partir de junio de 2007 y a 15 ppm (diesel ultra-bajo en sulfuros) a partir de junio de 2010 para gasóleo de uso agrícola.



BENEFICIOS ESPERADOS DEL PROGRAMA DE REDUCCIÓN DE EMISIONES

Según el estudio llevado a cabo por la Agencia de Protección Medioambiental estadounidense (EPA), en el año 1996, la contribución de los motores diesel de vehículos todoterreno, locomoción y marinos al nivel de partículas en suspensión por debajo de $2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$) se situaba en un 40% del total procedente de vehículos y barcos, así como un 25% del total de óxidos de nitrógeno (NO_x) procedente de vehículos y barcos, con una proyección temporal al alza de hasta el 44% para $\text{PM}_{2.5}$ y del 47% para NO_x para el año 2030, caso de no desarrollarse la norma final (Tier 4).

En el mismo estudio, la EPA cuantificó los costes y beneficios derivados de la implantación de la norma en EEUU, determinando unos beneficios en gasto sanitario cuantificables de 80.000 millones de dólares americanos por año, mucho mayores que los costes, estimados en 2.000 millones de dólares americanos por año (asociados a la necesaria adaptación de motores y combustible).

TECNOLOGÍAS EMPLEADAS PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA Y REDUCCIÓN DE EMISIONES

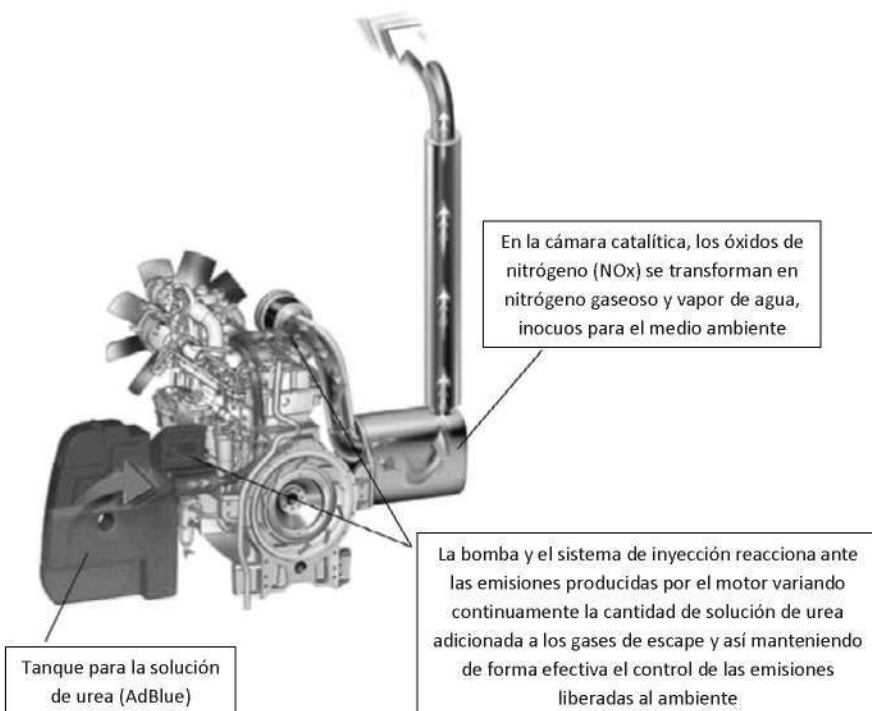
La notable reducción en los niveles máximos de emisiones permitidos ha supuesto que los fabricantes de motores para máquinas y tractores agrícolas hayan tenido que desarrollar nuevos sistemas para que sus motores se ajustasen a la normativa.

El desarrollo de los motores ha experimentado un gran impulso en los últimos años, incorporando mejoras destinadas a la consecución de una combustión más uniforme entre el combustible y el oxígeno del aire introducido en los cilindros.

Los sistemas de inyección mecánicos han sido sustituidos por los sistemas de inyección de raíl común o 'common rail'. En estos sistemas, una bomba de combustible de alta presión es accionada por el cigüeñal para mantener la presión deseada en el raíl común de forma controlada. Los inyectores, controlados electrónicamente, se encuentran conectados al raíl común mediante conductos de alta presión, y producen la inyección de combustible en el momento requerido. Los sistemas de raíl común alcanzan presiones excepcionalmente altas, superiores a los 200 MPa (2000 bar o 1974 atmósferas). Los sistemas de inyección de raíl común proporcionan una gran flexibilidad respecto a los mecánicos ya que permiten la ejecución de múltiples inyecciones durante un mismo ciclo.

Además del combustible, el otro elemento necesario para que se produzca la combustión es el oxígeno procedente del aire. Los sistemas de turboalimentación comprimen el aire en la admisión empleando la energía de los gases de escape. El empleo de turbocompresores o turbos es casi un requerimiento en los modernos motores con bajas emisiones y la refrigeración del aire a la salida del compresor y antes de la entrada al cilindro es común (son los sistemas denominados 'intercooler'). El accionamiento de los turbocompresores a elevadas velocidades del motor puede resultar excesivo por lo que se han desarrollado mecanismos para que los gases de escape puenteen la turbina, o más recientemente los denominados turbocompresores de geometría variable (TGV) que reducen el empuje de los gases de escape sobre la turbina a elevadas velocidades. La turboalimentación incrementa el flujo de entrada de aire y con ello permite incrementar la cuantía del combustible inyectado incrementando la densidad de potencia del motor (relación potencia/peso del motor).

Motor diesel AGCO SISU POWER™ (Fuente: 'The EPA Non-road Diesel Tier 4 Final Rule. An Overview. Resources September/October 2010 pp. 10-13)



Además, se incrementa la eficiencia de empleo del combustible porque el motor puede ser más pequeño y tener menos fricción y porque la potencia requerida para la compresión del aire de la admisión se obtiene de la expansión de los gases de escape.

Los mencionados sistemas de inyección y admisión, combinados con desarrollos en la gestión electrónica de los motores, han supuesto importantes mejoras en cuanto a su eficiencia, permitiendo además la reducción de contaminantes como el monóxido de carbono (CO).

La entrada en vigor del Tier 4 supone sin embargo un importante reto, ya que implicará una drástica reducción en los niveles permitidos de óxidos de nitrógeno (NOx) y de partículas (PM). La limitación de estas emisiones de los vehículos agrícolas se basa en dos estrategias complementarias. La primera de ellas es la reducción de contaminantes producidos durante la combustión, la segunda es el tratamiento de los gases expulsados por el motor previo a su liberación a la atmósfera.

FORMACIÓN DE PARTÍCULAS Y NOX DURANTE LA COMBUSTIÓN

Las partículas generadas durante la combustión en los motores diesel comprenden partículas de

hollín, una fracción orgánica soluble y sulfatos. La formación de partículas está muy ligada a las condiciones de combustión en el motor y se fomenta cuando la combustión se produce con una elevada riqueza en combustible (generalmente producida en zonas en que la mezcla combustible-aire resulta deficiente).

Los óxidos de nitrógeno (NOx) comprenden el monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) y se forman durante la combustión del diesel a elevada temperatura, debido a la reacción entre el nitrógeno (N₂) y el oxígeno (O₂) procedentes del aire.

Un aspecto negativo en cuanto al control de estos contaminantes es que las condiciones de combustión que producen la reducción de uno de ellos (PM o NOx), normalmente incrementan la del otro (NOx o PM).

TECNOLOGÍAS EMPLEADAS PARA LA REDUCCIÓN DE PM Y NOX

Los sistemas de recirculación de los gases de escape (EGR según sus siglas en inglés) emplean una parte de los gases procedentes del escape para reintroducirlos de nuevo en el cilindro junto con el aire procedente de la atmósfera. La introducción de estos gases de

escape incrementa la masa no reactiva en el cilindro y con ello se reducen las temperaturas máximas en la combustión, lo que a su vez reduce la formación de los óxidos de nitrógeno (NOx). Para alcanzar una reducción significativa en la temperatura de la combustión, evitando temperaturas locales excesivas, resulta necesario el empleo de grandes cantidades de EGR.

Los sistemas EGR más simples retienen parte de los gases de escape en el cilindro o introducen directamente una parte en el conducto de admisión. Pero en estos, los gases de escape no son refrigerados y por ello la reducción de los NOx es relativamente pequeña. Los sistemas externos de EGR permiten la refrigeración de los gases de escape (cEGR) al fluir por un conducto o más intensamente mediante un intercambiador de calor empleando líquido refrigerante del motor o aire. Los sistemas EGR refrigerados son mucho más eficientes en la reducción de NOx y permiten la recirculación de un mayor volumen de gases de escape.

La reducción en las emisiones de partículas procedentes del motor se puede conseguir mediante el paso a través de filtros de partículas. Los filtros

de partículas permiten separar la materia en forma de partículas de los gases de escape producidos por los motores. Las partículas de hollín retenidas por los filtros pueden ser eliminadas mediante su oxidación empleando el dióxido de nitrógeno (NO_2) y el oxígeno (O_2), en un proceso denominado regeneración.

La oxidación de las partículas mediante NO_2 se produce a las temperaturas normales de operación del motor (en torno a 300°C) por lo que se denomina regeneración pasiva. La oxidación de las partículas mediante O_2 requiere temperaturas por encima de 550°C por lo que resulta necesario elevar la temperatura de los gases de escape y se denomina regeneración activa.

La mayor parte del óxido de nitrógeno formado durante la combustión se produce en forma de NO por lo que en el caso de la regeneración pasiva es necesaria la intervención de un catalizador de oxidación que incremente los niveles de NO_2 . En el caso de la regeneración activa, los niveles de O_2 normalmente presentes en los gases de escape superan el 5% por lo que la única limitación es la temperatura antes mencionada, que hace necesaria la implementación de sistemas para el calentamiento de los gases de escape (quemadores o catalizadores oxidativos).

La reducción de los óxidos de nitrógeno (NO_x) puede llevarse a cabo mediante el tratamiento posterior de los gases de escape, este es el caso de los sistemas de reducción catalítica selectiva (SCR según sus siglas en inglés). Estos sistemas se basan en la reducción de los óxidos de nitrógeno (NO_x) por medio de su reacción con amoníaco (NH_3) para formar nitrógeno gaseoso (N_2) y agua (H_2O) y que se produce de forma eficiente para una ventana de temperaturas entre los 150°C y los 500°C . La aplicación de esta tecnología requiere disponer de amoníaco para lo cual se emplea una solución de alta pureza de urea en agua al 32,5% denominada AdBlue en la Unión Europea o fluido para escapes diesel (DEF) en EEUU. El AdBlue se congela por debajo de los -11°C y se descompone por encima de los 65°C por lo que resulta necesario planificar los sistemas de almacenamiento y transporte dentro y fuera de las máquinas que lo utilicen. El

Case IH planifica incorporar la tecnología de reducción catalítica selectiva en equipos específicos, tales como el nuevo tractor Steiger 600



aditivo es inyectado en el sistema de escape, aunque esta inyección debe producirse solamente cuando el motor ha alcanzado una temperatura adecuada ya que si se inyecta en frío la mezcla no se descompone totalmente para formar amoníaco.

CONCLUSIONES

La implantación del Tier 4 se centra en la transferencia a los vehículos todoterreno de tecnologías de control de emisiones basadas en la catálisis ya desarrolladas para los vehículos de carretera (autobuses y camiones). La aplicación de estas tecnologías de control de emisiones será posible gracias a la reducción de los niveles de sulfuro en los gasóleos de uso agrícola (diesel de ultra-bajo contenido en sulfuro). Las tecnologías catalíticas se deberán complementar con la incorporación de mejoras recientes desarrolladas en los motores (EGR, filtros de partículas,...) para la reducción de los contaminantes producidos.

La definitiva implantación del Tier 4 derivará en mejoras significativas en la calidad del aire, con importantes beneficios para la salud y el bienestar de las personas. Los estudios realizados acerca de los costes y beneficios derivados de la implantación del Tier 4 son concluyentes, los beneficios cuantificables esperados superan ampliamente a los costes de implantación y mantenimiento de la norma.

Una vez se implemente definitivamente el Tier 4, se abordarán nuevos retos como el incremento de la eficiencia energética o la reducción de gases de efecto invernadero que seguirán desafiando a los ingenieros ocupados en el diseño de motores para vehículos agrícolas.